

Das Ökosystem der Ostsee und seine Gefährdung

Sebastian A. Gerlach, Gerhard Kortum

Schlagzeilen und wissenschaftlicher Befund

Am 13. Mai 1992 hatte die lokale Presse wieder die Katastrophenmeldung, auf die sie im vergangenen Frühjahr – auch sehr zur Überraschung der Wissenschaftler – verzichten mußte: Unter der Überschrift „Giftalgen breiten sich aus, jetzt auch in der Kieler Bucht starke Konzentrationen – Ursachen umstritten“ wurde in den Kieler Nachrichten ausgeführt, daß sich eine der Gruppe der gefürchteten Chrysochromulina (1988 „Killeralge“) zuzuordnende Planktonalge, die in den vorausgegangenen Wochen angeblich für ein Fischsterben in süddänischen Gewässern verantwortlich war, von den Belten nach Süden in die Kieler Bucht ausbreitet. Dabei traten Konzentrationen von bis zu 50 Mio. Algen pro Liter Ostseewasser in der Sprungschicht zwischen erwärmtem Oberwasser und tieferem kälteren Bodenwasser bei 8-10 m Tiefe auf.

Dieser dem Fremdenverkehr an der Küste Schleswig-Holsteins sicher nicht gleichgültige Befund wurde von der am Institut für Meereskunde an der Universität Kiel bestehenden Monitoring-Gruppe sofort mit einer Meßfahrt und Probenahme an zahlreichen Stationen von der Flensburger Förde bis zum Fehmarnbelt überprüft. In dem wissenschaftlichen Fahrtbericht zur Monitoring-Fahrt am 13./14. Mai 1992 mit dem Kieler Forschungsschiff „Alkor“ wird zur hydrographischen und biologischen Situation festgehalten:

„Die Kieler Bucht war Mitte Mai durch eine sehr komplexe hydrographische Situation ausgezeichnet. Oberhalb der Temperatur-/Salzgehaltssprungschicht bei etwa 15 m Tiefe fanden sich fünf und mehr deutlich ausgeprägte Wasserschichten unterschiedlicher Temperatur- und Salzgehaltswerte, die eine Vielzahl von schwachen Dichtesprüngen aufwiesen (vgl. Abb. 1). Dabei war die zeitliche und räumliche Variabilität sehr ausgeprägt. Zum Beispiel änderte sich der Oberflächen-salzgehalt auf Station Boknis Eck innerhalb von nur 30 Minuten um fast 1 ‰, die Temperatur im gleichen Zeitraum um 0,8 °C. Auch das Bild der Vertikalschichtung bis zur Sprungschicht veränderte sich im gleichen Zeitraum fast vollständig. Die aufgefundenen Nährstoffkonzentrationen zeigten gegenüber den gleichen Monaten der Vorjahre aber keine Besonderheiten.“

In dem im Mai im Hinblick auf die Chrysochromulina-Blüte genommenen zusätzlichen Proben konnten bei Gesamtzellzahlen des Phytoplanktons von etwa 10 000/ml in der Kieler Bucht und 3000-4000/ml im Fehmarnbelt und in der östlich anschließenden Mecklenburger Bucht bei der Probenahme von Station Boknis Eck nur etwas mehr als 1 % Chrysochromulina-Arten identifiziert werden. Lediglich die

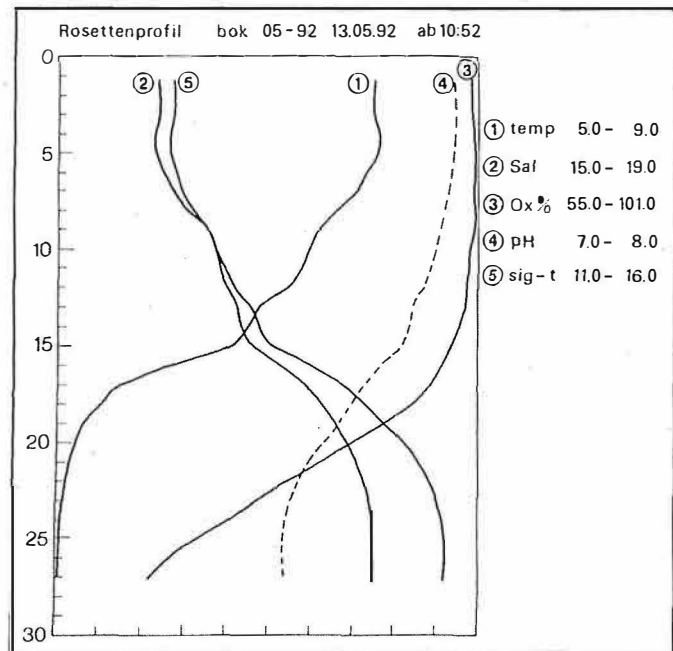


Abb. 1: Monitoring-Station Boknis Eck (Eckernförder Bucht): Tiefengradienten wichtiger Umweltparameter (Rosettenprofil)
Quelle: Originalregistrierung IIM Kiel, F.S. „Alkor“ am 13.5.1992

Wasserprobe aus 12 m Tiefe von der Station Kieler Bucht wies einen Anteil von 6,15 % dieser Gattung auf. Wie schon 1988 beobachtet, brach die Chrysochromulina-Blüte zusammen, als sie in den Bereich der Kieler Bucht weiter nach Süden und Osten vordrang. Die Ursachen hierfür sind nicht eindeutig geklärt, werden jedoch mit Absinken der Algen in größere Tiefen in Verbindung gebracht. Beobachtungen von schädlichen Auswirkungen, z.B. Fischsterben u.a., liegen aus der Kieler Bucht nicht vor.

Die bei langjähriger Betrachtung eher normale Algenblüte im Eingangsbereich der westlichen Ostsee (Beltsee) im Mai 1992 (vgl. Kastentext) zeigt eindringlich, wie notwendig ein verknüpfender ökologischer Ansatz bei Aussagen zu Situation und Gewässergüte der Ostsee ist. Seitdem Möbius im Jahr 1877 an der Lebensgemeinschaft einer Austernbank den „Biozönose“-Begriff entwickelte, hat sich die Meeresbiologie im Sinne der modernen Ökosystemtheorie verstanden. Gerade die Ostsee oder ein so klar abgrenzbares See-Subsystem wie die Kieler Bucht eignen sich besonders gut für ökosystemare Forschung. Hier kann auf langjährige, nahezu 100 Jahre umfassende intensive Forschung und fundierte Daten zurückgegriffen werden.

Es ist bislang nicht voll gelungen, alle komplexen Vorgänge des Makrosystems Ostsee insgesamt oder auch nur in seiner regionalen Differenzierung zu modellieren (vgl. Abb. 2 und 4, Tab. 1). Das 415 000 km² umfassende, mit 52 m Durchschnittstiefe trotz mehrerer typischer Tiefenbecken relativ flache atlantische Nebenmeer (Wasservolumen 21 700 km³) erweist sich als zu komplex. Auch für abgegrenzte Partialsysteme fehlen vielfach noch wichtige Glieder. Gerade bei der umweltpolitischen Bewertung sind beim Schadstoffeintrag die anthropogenen Faktoren einzubinden, die letztlich eine Einbeziehung des gesamten rund 1,7 Mio. km² hydrographischen Einzugsgebiets der Ostsee erfordern. Hierbei muß

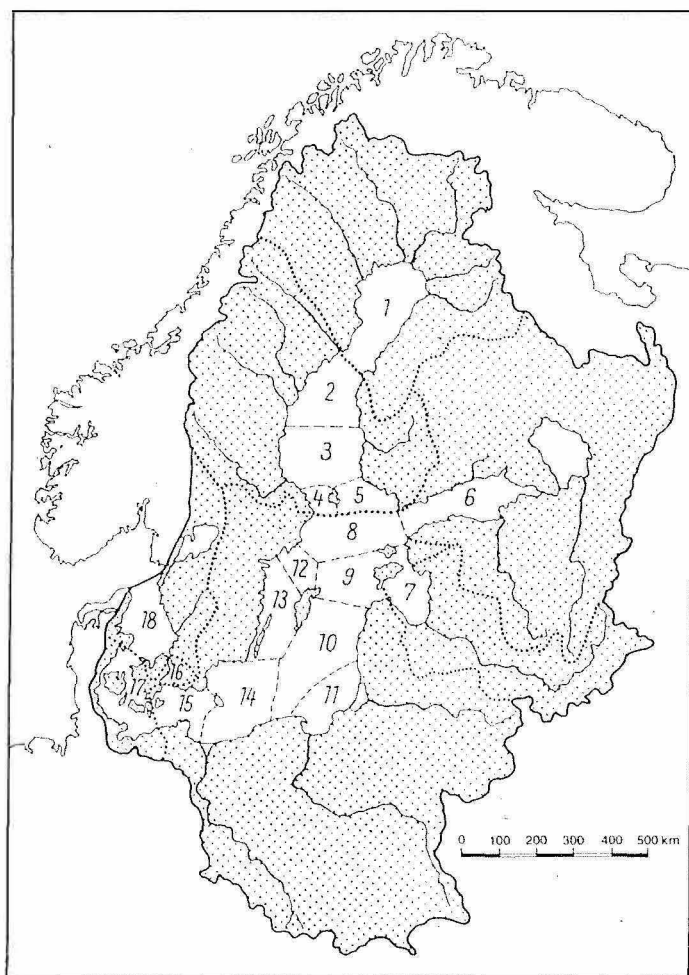


Abb. 2:
Einzugsgebiet
und Teilgebiete
der Ostsee

Erläuterungen der
Zahlen vgl. Tab. 1
Quelle:
Nach Hupfer 1979

auch die Bevölkerungsentwicklung und ökonomische Inwertsetzung des Hinterlandes einbezogen werden. Obwohl sich die Datenlage für die Ostsee, insbesondere seit Beginn der systematischen Arbeiten der Helsinki-Kommission zum Schutze der Meeresumwelt der Ostsee (vgl. Präambel in der deutschen Fassung, BGB 50, 1979) verbessert hat, ist man wegen neuer Problemaspekte bezüglich der Ostseelumwelt und verfeinerter Meßmethoden noch weit von dem Ziel entfernt, zu prognostisch verwertbaren Regelzusammenhängen zu gelangen.

Die Umweltproblematik der Ostsee zeigt in besonderer Weise, wie stark die physikalische und biologische Meereskunde mit der Geographie verknüpft ist. Das Anfang der 70er Jahre von dem schwedischen Meeresforscher *Jansson* entwickelte und nachfolgend verbesserte Makro-Teilmodell der Ostsee bezieht sich auf den Sauerstoffgehalt und damit verbundene Prozesse (Nitrate, Phosphate, Organische Stoffe; vgl. Abb. 4). Zunächst ist der Verbund zum System Nordsee durch den Einstrom von salzreichem Bodenwasser sowie den Ausstrom von salzarmem Oberflächenwasser der Ostsee durch die engen Zugänge der Belte und des Sundes herzustellen. Die in der Abbildung weiterhin erkennbaren Subsysteme Atmosphäre (Regen, Lichtprogramm, O₂ in Luft u.a.) und Boden begrenzen den Wasserkörper der Ostsee, der mit beiden Systemen verknüpft ist und nicht isoliert betrachtet werden kann. In ihm vollziehen sich hydrographische Vorgänge wie Auftrieb oder Diffusion durch die Halokline (Salzgehaltssprungschicht) sowie biologische und geochemische Umsetzungsprozesse (vgl. dazu den Beitrag *Lampe* in diesem Heft). Insgesamt ist die Ostsee ein offenes System mit einzelnen Regelkreisen, die sich gegenseitig beeinflussen.

Hieraus ergibt sich, daß katastrophale Einzelereignisse, wie z.B. Fischsterben in den Förden oder plötzlich auftretende Algenblüten, in einen größeren Systemzusammenhang einzuordnen sind. Hierfür wiederum sind ozeanographische und meeresbiologische Einzelkenntnisse sowie eine marinökologische Gesamtschau notwendig.

„Patient Ostsee“ – Diagnose und Therapie

Die natürliche Umwelt der Ostsee ist sicher gegenwärtig als gestört und gefährdet anzusehen. Oft wurde dem Baltischen Meer, in dessen Einzugsbereich immerhin 71 Mio. Menschen leben (vgl. Tab. 1 und 2), schon der nahe Tod vorausgesagt. Der Vergleich des Systems der Ostseelumwelt mit einem menschlichen Organismus ergibt eine neue umwelttechnologische Interpretationsmöglichkeit und Bedeutung des Begriffes „Meeresheilkunde“, der bislang nur die Heilwirkungen des

Tab. 1: Natürliche Gliederung der Ostsee

	Nr. lt. Abb. 2	Fläche km ²	Volumen km ³	Einzugs- gebiet km ²	Fluß- wasser km ³	Einwohner Mio.		Phos- phor t/Jahr	Stick- stoff t/Jahr
Bottnischer Meerbusen	1-5	115 517	6 370	449 650	193,29	S	1,52	3 500	56 700
						SF	0,91	3 600	53 200
Finnischer Meerbusen	6	29 498	1 098	419 200	113,52	SF	1,96	900	16 300
						SU	10,00	4 000	57 700
Rigaer Meerbusen	7	17 913	406	127 400	29,00	SU	4,00	1 100	47 800
Eigentliche Ostsee	8-15	209 930	13 045	568 973	100,34	SU	5,50	800	24 800
						PL	32,80	19 100	109 900
						S	4,24	1 100	28 000
						DDR	0,91	100	1 200
						DK	0,08	300	2 600
Beltsee	16/17	20 121	287	27 360	7,90	DDR	1,06	300	2 400
						D	1,10	2 400	16 400
						DK	3,28	7 300	48 500
						S	0,72	1 000	9 300
Kattegat	18	22 287	515	78 650	28,90	DK	0,46	1 900	18 000
						S	2,20	1 200	35 500
Ostsee	1-18	415 266	21 721	1 671 233	472,95		70,74	48 600	528 300

Quelle: Gerlach 1988

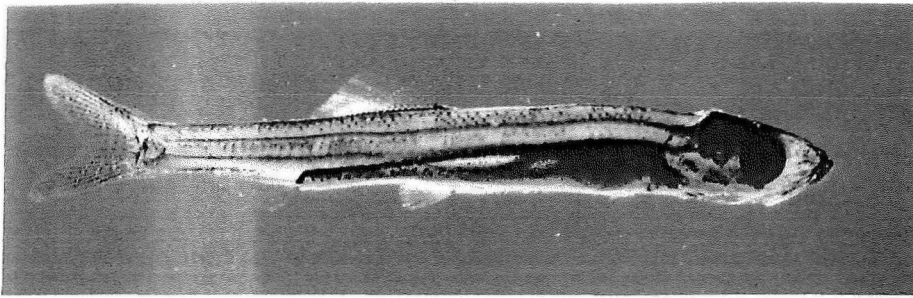


Foto 1: Leben in der Ostsee: Hering-Jungfisch, ca. 30 mm lang, 3 Monate alt, in der Flensburger Förde

Foto: U. Kils

Meeres selbst und des Seeklimas auf den menschlichen Organismus bei Erholungsaufenthalten an der See umfaßte. Die marine Pathologie entwickelt sich bereits zu einer neuen meeresbiologischen Teildisziplin, die sich mit umweltinduzierten Fischkrankheiten und Schadstoffwirkungen im marinen Milieu befaßt.

Bei der folgenden Bestandsaufnahme der jüngsten Veränderungen der Lebensbedingungen in der Ostsee aufgrund vermehrter Nährstoffzufuhr und Schadstoffeinträge könnte man den Vergleich mit einem kranken Organismus sogar noch weiterführen und der Frage nachgehen, wie die Ostsee „sterben“ kann. Neben techni-

schen Gewalteinwirkungen (etwa durch Brückenprojekte über die engen Ostseegänge) und „Alterschwäche“ kommen auch „Überfressen“ und „Ersticken“ sowie „Vergiftung“ in Frage. Bei allen Vorzügen einer solchen Gleichsetzung hat die Vorstellung von der kranken Ostsee aber auch ihre Grenzen: Denn krank sein bedeutet im medizinischen Sinne Abweichung vom Normalzustand oder Wohlbefinden. Die Ostsee ist seit ihrem Stadium als Eisstausee vor 12 000 bis 15 000 Jahren durch einschneidende, geologisch bedingte Veränderungen der Umwelt bereits mehrfach gestorben und wiedergeboren. Das Ökosystem ist auch heute noch von Natur aus labil und durch schleichende Veränderungen bestimmt.

Um zu einer fundierten Analyse des Krankheitsbildes der Ostsee zu kommen, sind viele Wissenschaftsbereiche aufgefordert, Datenerhebungen vorzunehmen,

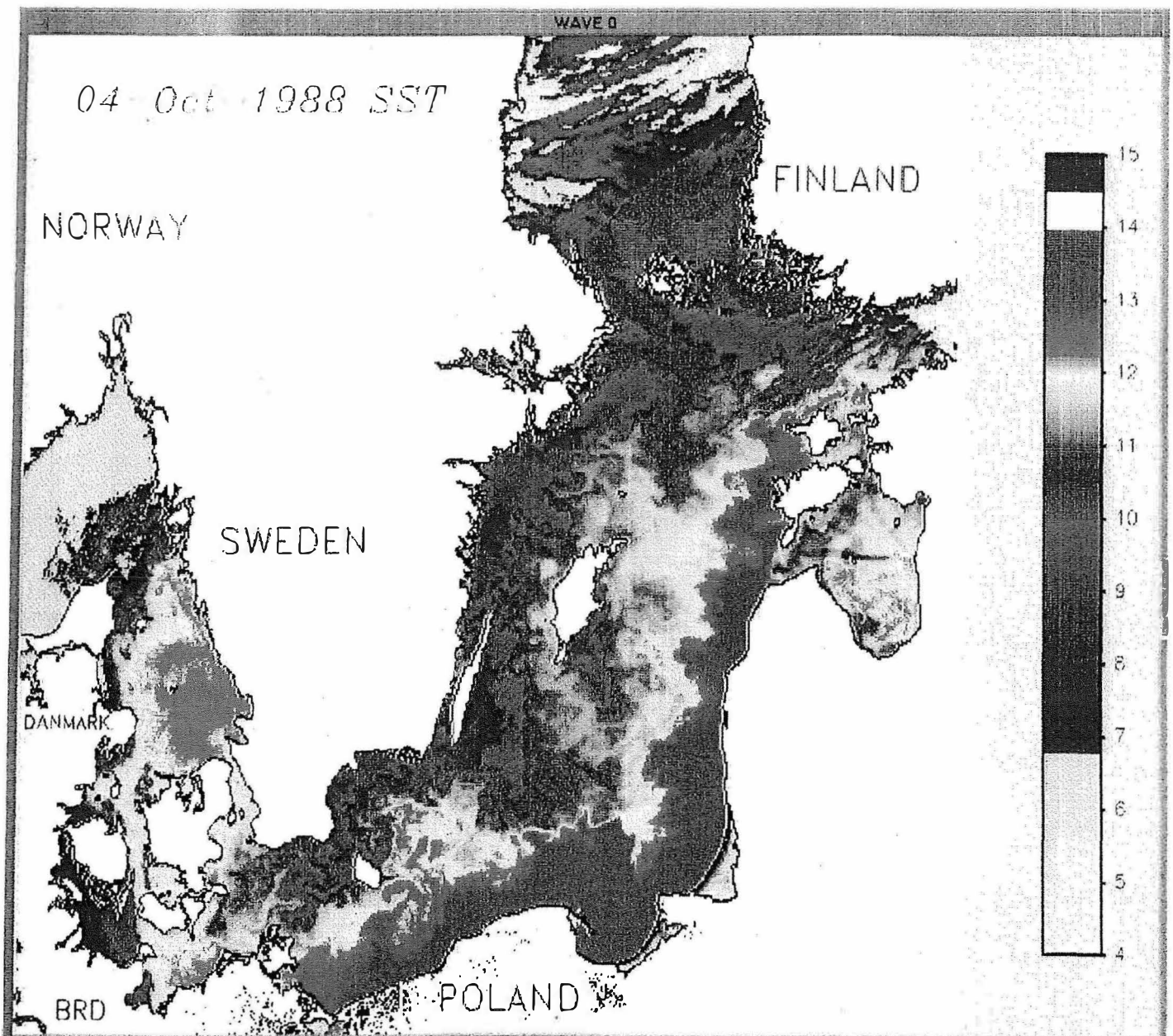


Abb. 3: Umweltfaktor Temperatur: Oberflächentemperaturverteilung in der Ostsee am 4.10.1988

Quelle: NOAA9-Bild, verarbeitet im IfM Kiel

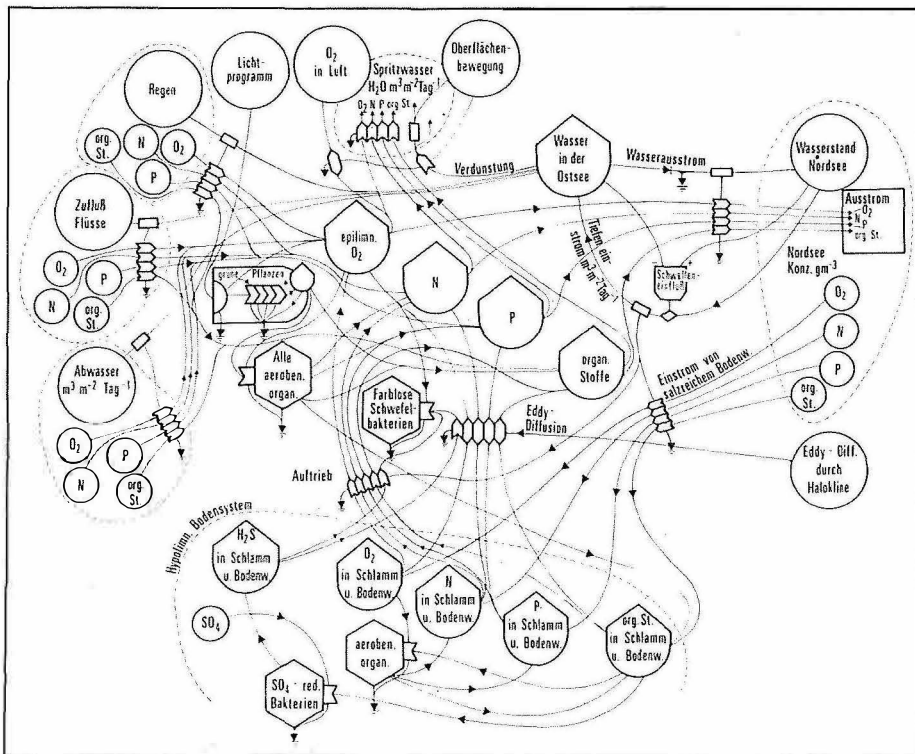


Abb. 4: Makromodell der Ostsee: Sauerstoffhaushalt und die hiermit verbundenen Prozesse

Quelle: Nach Schwenke und Schramm 1974, nach Jansson 1972

Tab. 2: Anliegerländer der Ostsee

Land	Fläche in tausend km ²	Einwohner in Mio.	generalis. Küstenlänge in km	Einzugsgebiet der Entwässerung in die Ostsee in tausend km ²
1. Schweden	449,8	7,8	2 460	410,2
2. Finnland	337,0	4,7	1 230	301,2
3. UdSSR	22 400,0	261,2	1 740	564,2
direkt angrenzend:				
RSFSR, Gebiet				
Leningrad	85,9	5,4	≈ 350	
Estnische SSR	45,1	1,4	≈ 680	
Lettische SSR	63,7	2,4	≈ 475	
Litauische SSR	65,2	3,1	≈ 75	
RSFSR, Gebiet				
Kaliningrad	15,1	0,7	≈ 160	
4. Polen	312,5	32,2	380	223,3
5. DDR	108,2	17,1	270	26,6
direkt angrenzend:				
Bezirk Rostock	7,1	0,9		
6. Bundesrepublik	248,5	59,7	200	5,0
direkt angrenzend:				
Schleswig-Holstein	15,7	2,3		
7. Dänemark	43,0	4,8	800	19,7
			7 080	1 550,2

Quelle: Hupfer 1978, damaliger politischer Stand

um hieraus nach mehrjährigen Meßreihen Tendenzen für die weitere Entwicklung der Meeresumwelt herausarbeiten zu können. Heute kann man noch nicht eindeutig

sagen, ob sich die Veränderungen bei den natürlichen Steuerfaktoren des Ökosystems Ostsee als langfristige Schwankungen um einen Mittelwert oder als grund-

gend neue Entwicklungstrends interpretieren lassen. Dies gilt z.B. für die Veränderungen des Einstroms von sauerstoffreichem salzigen Tiefenwasser aus dem Skagerrak durch das Kattegat und die Beltsee in die Ostsee (vgl. hierzu den Beitrag von Matthäus in diesem Heft).

Hydrographische Veränderungen des Ostseesystems

1990 wurde eine zweite von der Helsinki-Kommission in Auftrag gegebene Bewertung der Umweltverhältnisse der Ostsee abgeschlossen (Baltic Marine Environmental Protection Commission 1990). An ihr beteiligten sich etwa 50 Wissenschaftler aus allen Ländern, die an die Ostsee grenzen. Hierbei wurden Meßergebnisse aus vergangenen Jahrzehnten und die in den Jahren zwischen 1978-1988 im Rahmen des Ostsee-Meßprogramms erhobenen Daten bewertet. Die Meßstationen liegen an besonders ausgezeichneten und sorgfältig ausgewählten Punkten in der offenen Ostsee. Über küstennahe Verhältnisse können sie keine Aussagen machen.

Bevor näher auf die Veränderungen bei der Algenmenge, bei dem Nährstoffeintrag und dem Sauerstoffhaushalt des Ostseewassers eingegangen wird, soll zunächst auf die biologischen Folgen der Veränderung des Salzgehaltes hingewiesen werden. Dieser hydrographische Basisfaktor wirkt sich nicht nur auf die Dichteschichtung, sondern auch auf die ökologischen Vorgänge aus (vgl. Abb. 5 und 6). Zudem ist er derjenige Faktor, der gegenüber anderen Faktoren vom Menschen bisher nicht beeinflusst worden ist; Veränderungen sind mithin natürlichen Ursprungs.

Bei einer Diskussion des Salzhaushalts der Ostsee kann auf die Behandlung der periodischen Salzeinbrüche mit tiefem Zustrom aus der Nordsee an dieser Stelle verzichtet werden (vgl. den Beitrag Matthäus in diesem Heft). Aber auch im Oberflächenwasser der zentralen Ostsee zwischen Polen, Finnland, Gotland sowie dem Baltikum gab es Veränderungen im Zeitraum von 1969-1988. Im Mittel stieg der Salzgehalt in den ersten 10 Jahren um etwa 0,5 ‰ an, nahm dann aber seit 1979 wieder um den gleichen Betrag ab. Diese zunächst unscheinbaren Veränderungen haben dennoch erhebliche Auswirkungen auf das Leben in der Ostsee. Viele Meeresorganismen können Brackwasser nur bis zu einem gewissen Salzgehalt hinab ertragen. Sie können in der Ostsee deshalb immer dann weiter vordringen, wenn der Salzgehalt steigt, müssen sich aber zurückziehen, wenn er sinkt. Hiervon ist die Ostseefischerei nicht unerheblich betroffen.

Die Ostsee unterscheidet sich als größtes zusammenhängendes Brackwassergebiet der Erde zudem von anderen marinen Systemen durch ihre besondere Topographie und Schwellen-Becken-Struktur mit

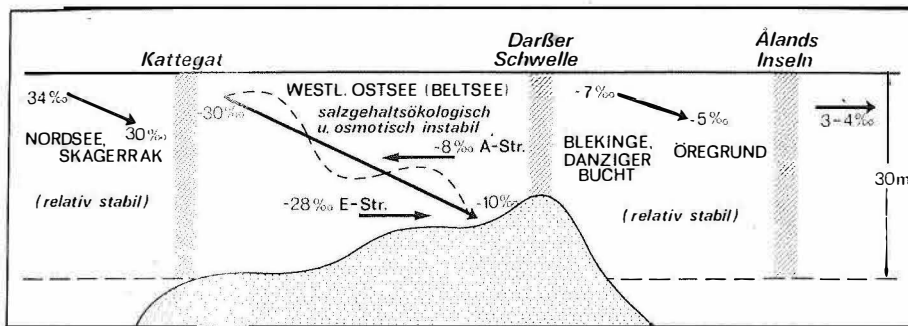


Abb. 5: Umweltfaktor Salzgehalt: Schematische Darstellung der Salzgehaltsverhältnisse der Ostsee
Quelle: Magaard und Rheinheimer 1974

daraus resultierenden Wasseraustauschproblemen. In ihrer geologisch sehr jungen Geschichte durchlief sie seit dem Abklingen der Weichseleiszeit im Wechsel mehrmals marine und limnische Phasen. Nur relativ wenig Organismen konnten sich in der kurzen Zeit seit dem Bestehen der „heutigen“ Ostsee (ab Subatlantikum 2000 v. Chr., „Mya-Stadium“ nach Sandmuschel *Mya arenaria*) auf das sich ausäußende Brackwassersystem einstellen; für die meisten bedeutet der zwar relativ konstante, aber niedrige Salzgehalt (mesohaline Bedingungen) einen ständigen os-

motischen Streß. Die Artenzahl ist deshalb viel geringer als in rein marinen oder limnischen Systemen, besonders im Bereich von Flußmündungen oder auch im Übergangsgebiet der Kieler Bucht und Beltsee insgesamt, wo sich die Temperaturen und der Salzgehalt innerhalb weniger Stunden oder auch Tage sehr stark ändern können (vgl. Herbstmomentaufnahme Abb. 3 mit zahlreichen Wirbeln und Kleinstrukturen). Dieser Umweltstreß ist mithin eine naturgegebene Belastung.

Im Zusammenhang mit den gegenwärtigen Planungen einer festen Øresund-

Querung von Kopenhagen nach Malmö über Saltholm werden die Pfeiler des Brückenteils den Querschnitt dieses Ostseezuganges (27 % des Wasseraustausches der Ostsee) beeinträchtigen. Wie bereits vor etwa 15 Jahren bei der heftig geführten Diskussion um die jetzt im Bau befindliche Querung des großen Beltes wenden sich besonders dänische Umweltschutzorganisationen gegen jegliche Manipulation der Ostsee-Zugänge. Die Sund-Querung bleibt deshalb umstritten. Bis heute gibt es keine meereskundlich hinreichend abgesicherten Modellrechnungen, wie sich eine „Null-Lösung“ (kompensierende Ausbaggerung in die Breite oder als tiefe Rinne) auf den Salzhaushalt der Ostsee insgesamt auswirken würde. Unbestritten ist aber, daß mit der Sund-Querung ein Eingriff in die Ostsee-Umwelt vollzogen wird.

Die Eutrophierung der Ostsee

Häufig wird bei meeresbiologischen Betrachtungen nicht berücksichtigt, daß mikrobiologische Vorgänge (Bakterien u.a.) und Plankton für die Stoffumsätze und Lebensvorgänge im Meer sehr viel wichtiger

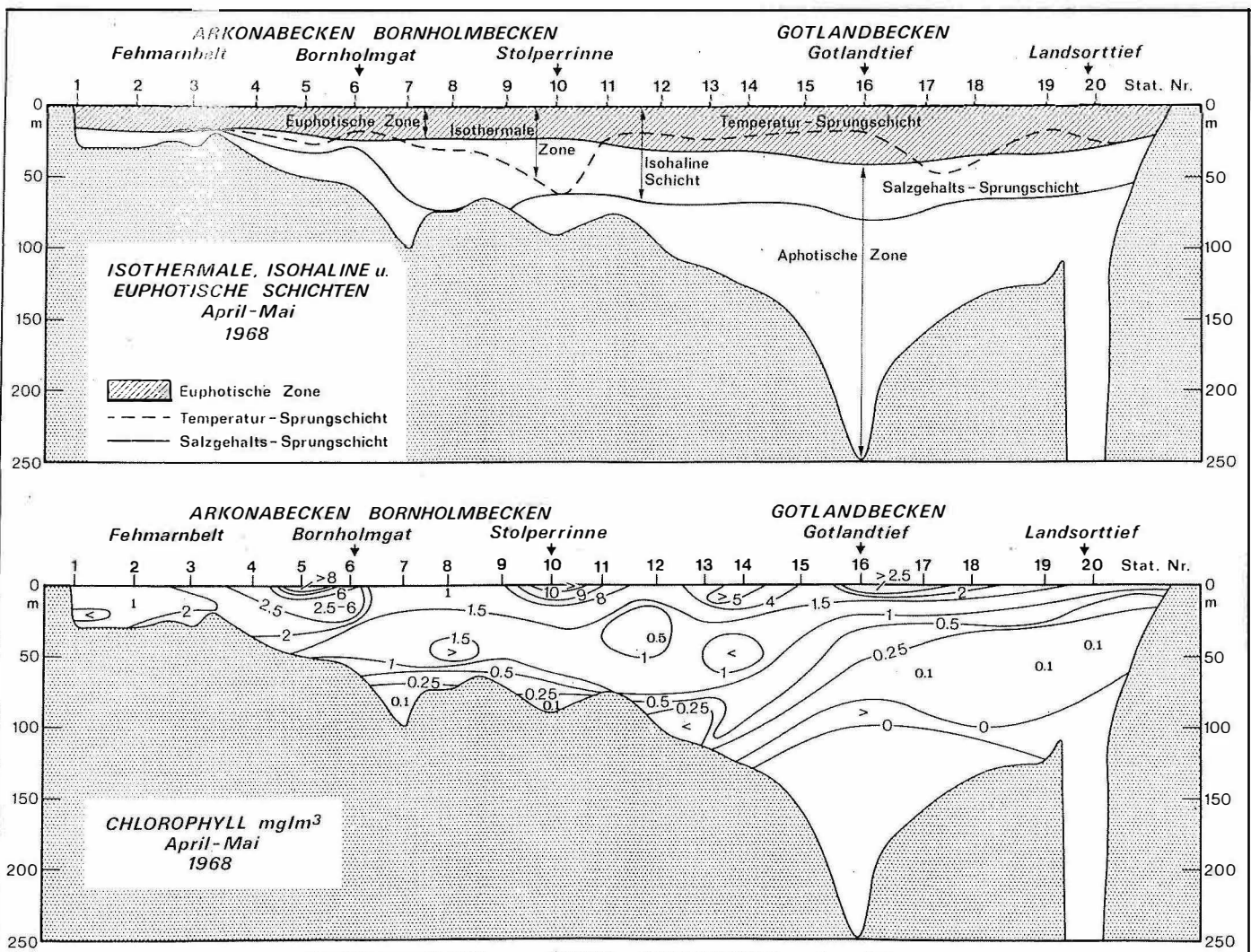


Abb. 6: Umweltfaktor Schichtung: Ostseeprofil mit generalisierten Schichtungsverhältnissen und Chlorophyllgehalt als Maß für den Phytoplanktonbestand, Frühjahrssituation 1968

Quelle: Magaard und Rheinheimer 1974



Foto 2: Tod in der Ostsee: Strandbereich in der Eckernförder Bucht am 24.9.1988 nach einem Auftrieb von sauerstofflosem Tiefenwasser durch Westwinde (18 Stunden mit Windstärke 8)

Foto: U. Kils

sind als höher organisierte Lebewesen. Trotz der Belastung durch Schadstoffe und Umweltgifte ist in der Ostsee die Menge des Phytoplanktons im Laufe der vergangenen 40 Jahre erheblich größer geworden. Damit ist auch die Produktion der pflanzlichen Biomasse insgesamt jetzt höher als früher. Diese Tatsache beunruhigt mit Recht viele Menschen, aber es wäre weitaus schlimmer, wenn durch Schadstoffe das Phytoplankton der Ostsee bereits so stark geschädigt wäre, daß die Bestände sinken würden. Vor 40 Jahren war das Ostseewasser teilweise so klar, daß man noch in 20 m Tiefe den Grund sehen konnte. Heute trüben im Sommer die vielen Planktonalgen das Wasser. Die Algenzellen sterben ab, setzen sich nach einer gewissen Zeit als weicher Schlamm am Meeresboden ab und verursachen dort schließlich Sauerstoffmangel (vgl. Abb. 7). Algen brauchen zum Wachstum und zur Vermehrung Licht und Nährstoffe. Das Licht wird von der Sonne geliefert, aber das Wetter und die örtlichen hydrographischen Bedingungen entscheiden schließlich, ob die Algen in einer lichtdurchfluteten Oberflächenschicht des Meerwassers gut wachsen können oder ob sie unter Lichtmangel leiden.

Im Frühjahr sind Phosphor und Stickstoff als wichtigste Nährsalze im Oberflächenwasser reichlich verfügbar und fördern das Algenwachstum. Die „Frühjahrsblüte“, wie man ihre Massenvermehrung nennt, bricht dann zusammen, wenn die Nährstoffe aufgebraucht sind. Im Sommer sind diese in der lichtdurchfluteten Oberflächenschicht oft so knapp geworden, daß man die geringen Konzentrationen mit

den gängigen Analysemethoden kaum noch erfassen kann. Die Algen leben dann sparsam und nutzen die geringen verfügbaren Nährstoffrestmengen immer wieder in einem Recycling-Verfahren. Aber bei Starkwindlagen wird auch im Sommer gelegentlich nährstoffreiches Tiefenwasser an die Oberfläche gewirbelt und kann dort üppiges Planktonwachstum bewirken. Es kommt dann zu Sommerblüten des Phytoplanktons, das oft in wolkenartigen Verteilungen auftritt. Wetterlage, Hydrographie und Biologie wirken hierbei aufs engste zusammen.

Der Mensch kann weder das Wetter noch die hiervon abhängige Wasserschichtung der Ostsee gezielt beeinflussen. Deshalb konzentriert sich die Diskussion zur Sanierung der Ostsee-Umwelt, die sich an dem Zustand vor dem Zweiten Weltkrieg oder früher orientiert, gegenwärtig auf die Reduzierung von Phosphor und Stickstoff. Der vom Menschen zu verantwortende Eintrag dieser beiden Elemente in die Ostsee-Umwelt stieg in den vergangenen 40 Jahren bei Phosphor auf das siebenfache und bei Stickstoff auf das vierfache. 1980 gelangten nach Unterlagen der HELCOM-Kommission schätzungsweise 50 000 t Phosphor und 500 000 t Stickstoff aus Flüssen und Einleitungen in die Ostsee (vgl. Abb. 8 und Tab. 1), dazu weitere 400 000 t Stickstoff über die Atmosphäre. Die genannten Pflanzennährstoffe sind keine Gifte im engeren Sinne, im Gegenteil, sie sind die Grundlage des organischen Lebens auf der Erde. Man sollte daher die Eutrophierung nicht direkt mit der Umweltverschmutzung in Verbindung bringen, wohl aber

als folgenreichen anthropogenen Faktor der Umweltveränderung sehen.

Weil im Sommer das Phytoplankton nahezu alle verfügbaren Nährstoffe verbraucht, werden aus guten Gründen für die Bewertung der Nährstoffverhältnisse in der Ostsee nur die Messungen aus den Wintermonaten Januar und Februar herangezogen, denn nur im Winter, wenn es kaum Phytoplankton gibt, erhält man Jahr für Jahr gut vergleichbare Daten, die Tendenzaussagen ermöglichen. Zwischen 1969 und 1978 stiegen nun im Oberflächenwasser der zentralen Ostsee die Konzentrationen sowohl von Phosphor als auch von Stickstoff auf das Dreifache. Von 1979 bis 1988 haben sie sich dagegen ziemlich gleichmäßig auf diesem hohen Niveau gehalten. Die Phosphorkonzentration ist jetzt kaum niedriger als in der zentralen Nordsee, vorher war sie knapp ein Drittel so hoch. Die Ostsee war deshalb früher als oligotrophes, d.h. schlecht ernährtes Meer bekannt. Heute kann man sie als eutroph, d.h. gut ernährt, bezeichnen.

Das ökologische System der Ostsee ist durch den neueren Anstieg der Nährstoffkonzentrationen gestört, sofern man den oligotrophen Zustand wie vor 14 Jahren als wünschenswert ansieht. Man müßte zur Wiederherstellung der alten Verhältnisse in allen Anrainerstaaten der Ostsee möglichst viele Nährstoffe in Kläranlagen zurückhalten und besonders die Düngereinsatzung in der Landwirtschaft ganz erheblich einschränken. Auch die Ammoniak-Luftverschmutzung aus der Landwirtschaft durch Gülle wäre zu verringern. Viele Kreise, auch in der Wissenschaft, geben nicht ganz zu Unrecht der Landwirtschaft die Hauptschuld an der Eutrophierung der Ostsee („Die See, ein Bauernopfer?“). Aber auch die Emissionen von Stickstoffverbindungen aus Verkehr, Kraftwerken und Heizungen sind zu hoch.

Dies alles sind plausible Forderungen. Dabei sollte man aber nicht vergessen, daß Nährstoffe auch naturgegeben in der Ostsee vorkommen. Es gibt viele erst in Ansätzen erforschte natürliche Prozesse, welche auf die Nährstoffkonzentrationen in der Ostsee einwirken. In der Zeit zwischen 1969 und 1978 stiegen sie in der Periode, als auch der Salzgehalt im Ostseewasser zunahm. Seit 1979 steigen die Nährstoffkonzentrationen aber nicht weiter an, in dieser Dekade verringerte sich aber der Salzgehalt. Die kritische Grenze zwischen salzarmer Deckschicht und salzreichem und nährstoffreichen Tiefenwasser liegt jetzt in der zentralen Ostsee etwa 9 m tiefer als vor 10 Jahren. Es ist bisher nicht völlig klar, ob zwischen diesen Schichtungsverhältnissen und den Nährstoffkonzentrationen in der Ostsee kausale Beziehungen hergestellt werden können. Naturgegebene Austauschprozesse können die Wirkung des Nährstoffeintrages durch den Menschen also überlagern.

Eine große Rolle spielen z.B. die geochemischen Prozesse am Meeresboden, durch die Phosphat freigesetzt werden kann. Komplizierte mikrobiologische Vorgänge wandeln Nitrat in atmosphärischen Stickstoff um und entfernen auf diese Weise Stickstoff aus dem Nährstoffsystem. Die Rolle des Lufteintrages von Stickstoff bedarf weiterer Erforschung. Düngt die Atmosphäre im Sommer wirkungsvoll das nährstoffarme Oberflächenwasser? Ist es hinreichend, in Umweltprogrammen nur Phosphor oder nur Stickstoff zurückzuhalten, oder müssen beide Elemente gleichzeitig reduziert werden? Diese Fragen lassen sich heute noch nicht mit der gebotenen Wissenschaftlichkeit beantworten. So konnte bislang noch nicht eindeutig geklärt werden, warum die eingangs erwähnte Chrysochromulina-Blüte 1988 in dänischen und schwedischen Gewässern erst dann toxische Eigenschaften entwickelte, als die Phosphate sich einem Minimumwert näherten.

Sauerstoffmangel im Ostsee-Tiefenwasser

In den Jahren 1979 bis 1988 sind in der zentralen Ostsee im Tiefenbereich von 80-100 m die Sauerstoffverhältnisse nach den HELCOM-Daten etwas besser geworden. Dort konnten weite Bereiche des Meeresbodens wieder besiedelt werden, wo vorher die Tierwelt wegen Sauerstoffmangel

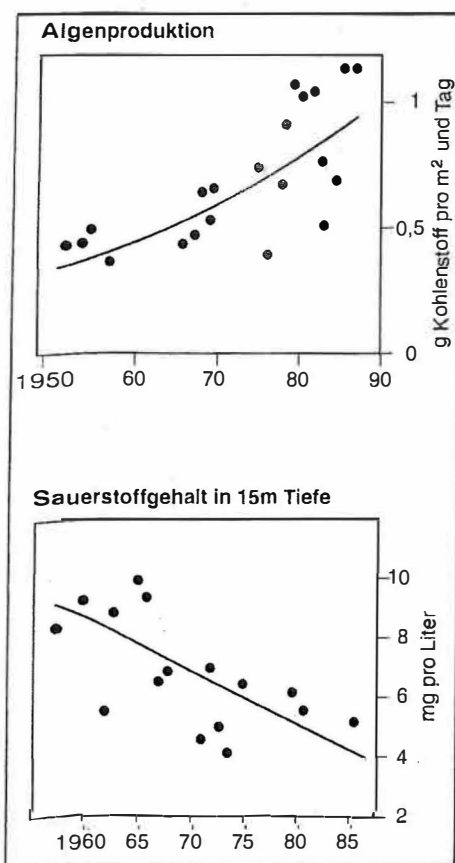


Abb. 7: Algenproduktion und Sauerstoffgehalt
Quelle: Archiv IfM Kiel

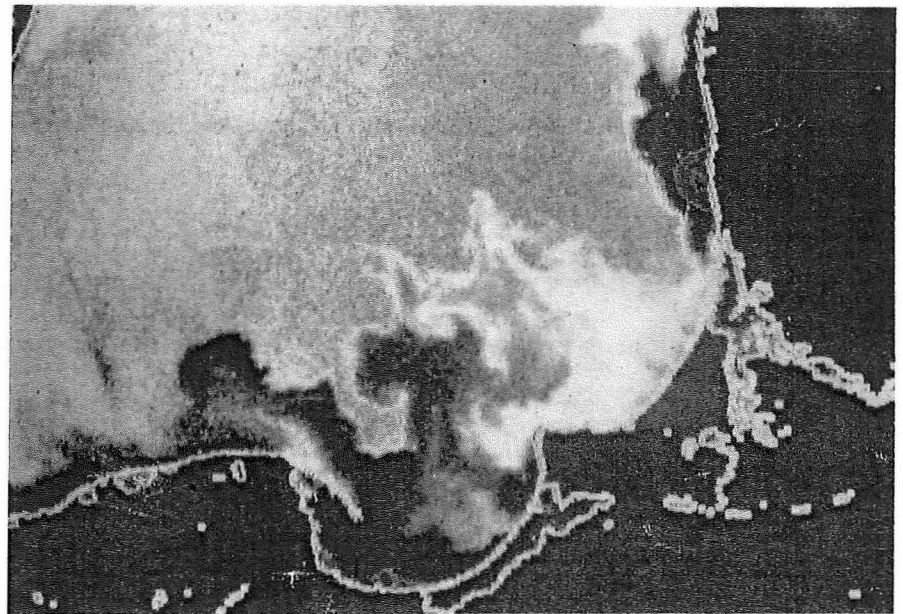


Abb. 8: Eutrophierung durch Flußeinleitungen (Weichsel und Memel – Frühjahrssituation, Chlorophyll-Gehalt der Oberflächenschicht)

Quelle: Bearbeitet von U. Horstmann nach Foto Nimbus 7/CZCS

fehlte. Die Ursache für diese Veränderung ist u.a. in der Verlagerung der Salzgehaltssprungschicht im gleichen Zeitraum um etwa 9 m in die Tiefe zu erkennen. Der Oberflächenwasserkörper, in dem keine Sauerstoffprobleme auftreten, reicht somit 9 m weiter nach unten. In den größeren Tiefen der Ostsee sind dagegen seit 1979 die Verhältnisse schlechter geworden. In vielen Tiefenzonen gibt es im Wasser über dem Meeresboden seit langem überhaupt keinen Sauerstoff mehr.

Giftiger Schwefelwasserstoff entwickelt sich durch die Tätigkeit von Bakterien. Bodentiere können unter diesen anaeroben Bedingungen nicht leben. Die Ausdehnung der allgemein als tote Zonen bezeichneten Areale wird auf 20 000 km² geschätzt. Aus ihrer Ausbreitung folgert man, daß die Ostsee „stirbt“. Der Meeresökologe sieht dies allerdings differenzierter, denn auch die Bakterien, welche Schwefelwasserstoff produzieren, leben. Man muß aber betonen, daß die oberflächennahen Schichten der offenen Ostsee hiervon ebenso wenig betroffen sind wie im Schwarzen Meer, wo es seit Jahrtausenden in der Tiefe keinen Sauerstoff gibt.

Seit 1956 mehren sich die Beobachtungen von Sauerstoffmangel auch in den Förden und abgeschlossenen Buchten. In der Kieler und Mecklenburger Bucht wurde im September 1981 in allen Wassertiefen von mehr als 20 m extremer Sauerstoffmangel festgestellt. Vielfach gab es auch höhere Konzentrationen des giftigen Schwefelwasserstoffes, der sich durch Bakterienwirkung bildet. Bis auf die Muscheln *Arctica* und *Astarte* sowie den Wurm *Halicryptus* starb die gesamte Bodenfauna weitgehend aus. Auch in dänischen und schwedischen Gewässern traten gleichzeitig Sauerstoffmangelzonen in

bisher nie beobachtetem Ausmaß auf. 1983 herrschte in den genannten Bereichen eine ähnliche Situation. Historische Daten belegen, daß es Sauerstoffmangel am Boden der Kieler Bucht vermutlich schon zur Bronzezeit vor 7000 Jahren und auch während des hochmittelalterlichen Klimaoptimums vor 900 Jahren gegeben hat, und zwar über viele Jahrzehnte hinweg. Ein Absterben der Bodenfauna in der Kieler Bucht durch Sauerstoffmangel war auch 1913, 1926, 1961, 1964, 1967, 1972 und 1975 zu verzeichnen, wenn auch nicht so weiträumig wie 1981. Im Bodenwasser der Eckernförder Bucht bei Boknis Eck wurde Sauerstoffmangel in der Dekade 1975-1984 häufiger festgestellt als in den 10 Jahren vorher. Seit 1980 gab es kein Jahr mit guten Sauerstoffverhältnissen im Sommer. Dennoch kam es selbst bei knapper Versorgung alljährlich zu schneller Wiederbesiedlung des Meeresbodens.

Nicht nur das Oberflächenwasser, auch das Tiefenwasser der Ostsee ist seit 1978 salzärmer geworden und hat nur noch 11,5 ‰ Salzgehalt gegenüber 13 ‰ im Jahr 1977. Deshalb würde jetzt schon ein Einstrom verhältnismäßig salzarmen Wassers ausreichen, um das Bodenwasser in der zentralen Ostsee auszutauschen. Am besten wäre es für das ökologische System der Ostsee, wenn alljährlich mit dem Salzwassereinstrom etwas mehr Sauerstoff geliefert als im Laufe des Jahres verbraucht würde. Wie sich aber langfristig die Wetterbedingungen entwickeln werden und mit welcher Häufigkeit es in den kommenden Jahrzehnten Salzwassereintritte geben wird, kann man nicht vorhersagen. Die tieferen Becken der Ostsee bleiben dann ohne Sauerstoff, trotz aller Anstrengung zur Nährstoffreduzierung.

Belastung der Ostsee-Umwelt durch Schadstoffe

Unter Schadstoffe fallen Umweltgifte industriell-technischen Ursprungs wie DDT, PCBs (polychlorierte Biphenyle) oder auch das 1988 für bewuchshindernde Unterwasseranstriche bei Sportbooten verbotene hochgiftige TBT (Tributylzinn). Die verfeinerten Methoden der Meereschemie haben inzwischen große Fortschritte beim Schadstoff-Monitoring der Ostsee ermöglicht. Die Konzentrationen im Wasser sind teilweise außerordentlich gering. Bekannt ist hingegen die Akkumulationsfähigkeit vieler Organismen, die als Umweltindikatoren herangezogen werden können wie z.B. die Miesmuscheln.

Bereits kurz nach 1970 wurde in allen Ostsee-Anliegerstaaten die Anwendung von DDT verboten oder zumindest erheblich eingeschränkt. Dies hat relativ schnelle Auswirkungen gehabt: Die DDT-Konzentration in Seevögeleiern und in der Muskulatur von Heringen gingen bedeutend zurück (Rückgang von 0,7 mg/kg auf 0,2 mg/kg in der Zeit von 1974-1982). Heute liegt die DDT-Konzentration in der offenen Ostsee vielfach unter der Nachweisgrenze (0,05 ng/l). Damit ist aber das DDT nicht vollständig aus dem Ostseesystem ausgeschieden, vielmehr ist es über Partikelfluß teilweise in das Sediment gelangt. Die Bestände fischfressender Seevögel wie Lumen oder Kormorane haben sich inzwischen erholen können.

Für die Krankheits- und Mißbildungsphänomene des gefährdeten Bestandes von 2000 Kegelrobben und rund 10 000 Ringelrobben in der nördlichen Ostsee hatten schwedische Meeresbiologen wohl nicht zu Unrecht die Belastung durch PCBs verantwortlich gemacht. Die Konzentrationen von PCBs haben sich in den letzten Jahren nach einem schnellen Rückgang auf einem niedrigeren Niveau eingependelt.

Auch Quecksilber ist für die Ostsee großräumig kein gravierendes Problem mehr. Die heute gemessenen Konzentrationen von etwa 3 ng/l, davon zur Hälfte in labiler anorganischer Form, entsprechen etwa dem naturgegebenen Gehalt, wie er sich im offenen Nordatlantik findet. Bis 1980/83 war der Quecksilbergehalt in Heringen und Dorschen auf unter 0,03 mg/kg zurückgegangen. Das Quecksilber stammte teilweise aus der Zellstoff- und Papierindustrie des Ostseeraumes. Eine ähnliche Entwicklungstendenz ist für das Cadmium festzustellen.

Die Konzentration von Spurenelementen (Schwermetallen) in der offenen Ostsee liegt, abgesehen von Flußmündungsgebieten, nur unwesentlich höher als im Atlantik, der als Referenzpunkt für die globale Belastung der marinen Biosphäre dienen kann.

Jährlich werden in die Ostsee durch Zuflüsse, Schiffsbetrieb und durch die Atmosphäre rund 50 000 t Erdölbestandteile

eingetragen. Im Ostseewasser finden sich 0,2-2,0 mg/m³. In der Nähe von Städten und Raffineriestandorten ist die Belastung aber erheblich größer. Besonders Vögel und benthische Lebensgemeinschaften werden hierdurch betroffen.

Perspektiven

Gravierende Umweltprobleme treten im Ostseebereich in Küstengewässern auf, die in dieser, auf die offene See konzentrierten Gesamtschau nicht berücksichtigt werden konnten. Die inneren Förden und Buchten oder auch Bodden und Haffs mit eingeschränktem Wasseraustausch zur offenen See sowie die Flußmündungsbereiche der Newa (Abfluß 87 km³ pro Jahr), Weichsel (34 km³) und Memel (21 km³, vgl. Satellitenbild Abb. 8), der Düna (24 km³) oder der Oder (17 km³) unterliegen nicht nur stärkerer Inanspruchnahme durch den Menschen, sondern unterstehen umweltspezifisch noch ausschließlich der nationalen Verantwortlichkeit. Wegen gesundheitlicher Gefährdung durch Kolibakterien mußten 1988/89 an vielen Küstenabschnitten Estlands, Lettlands, Litauens und Polens bereits Badeverbote erlassen werden.

Das Ökosystem Ostsee ist nach heutiger Einschätzung deutlich gefährdeter als das der Nordsee. Hierfür sind die natürlichen Gegebenheiten, insbesondere der geringe Wasseraustausch und die mangelhafte vertikale Durchmischung durch Schichtenbildung verantwortlich, die die Selbstreinigungskraft der Ostsee herabsetzen. Anthropogene Belastungen wirken sich daher in der Ostsee gravierender aus.

Die Verantwortung der Bundesrepublik Deutschland hat sich nach der deutschen Einheit erhöht. Der deutsche Anteil an der Ostseeküstenlänge beträgt nunmehr 470 km (von 7080 km Ostseeküste insgesamt). Wenn auch der deutsche Anteil an der Ostseefläche (Fischereizone) und am Einzugsbereich noch immer gering ist, so ist doch zu bedenken, daß Nährstoff- und Schadstoffeinträge auch durch die Atmosphäre erfolgen und somit internationale Probleme darstellen, die nur gemeinschaftlich gelöst werden können. Insofern ist die Ostsee nach dem politischen Umbruch im Osten eine große Herausforderung für eine europäische Umweltpolitik. ●

Literatur

- Baltic Marine Environmental Protection Commission, Helsinki Commission (Ed.): Second Periodic Assessment of the State of the Marine Environment of the Baltic Sea 1984-1988. Background Document. Helsinki 1990. (Baltic Sea Environmental Proceedings, Vol. 35B).
- Deutsches Hydrographisches Institut (Hrsg.): Ostsee-Handbuch, IV. Teil. Von Flensburg bis Utklippan und Memel. Nr. 2003. Hamburg 1959.
- Dietrich, G.: Oberflächenströmungen im Kattegat, im Sund und in der Beltsee. Deutsche Hydrographische Zeitschrift (1951) H. 4, S. 129-150.
- Gerlach, S.A.: Marine Pollution. Diagnosis and Therapy. Berlin, Heidelberg u.a. 1981.

Ders.: Stirbt die Ostsee? Schadstoffe und Nährstoffe in der Ostsee und die Veränderungen der Lebensbedingungen in den letzten 40 Jahren. Math.-naturw. Unterr. 41 (1988) H. 5, S. 262-276.

Ders.: Stickstoff, Phosphor, Plankton und Sauerstoffmangel in der Deutschen Bucht und in der Kieler Bucht. Berlin 1990. (Berichte des Umweltbundesamtes, Nr. 4).

Grasshoff, K.: The Baltic Sea as an Example for the Interaction of Natural and Manmade Stress Factors. Thalassia Jugoslavijs 11 (1975), S. 1-17.

Helm, R.: Zum Problem der Strömungen im Fehmarnbelt. Beiträge zur Meereskunde 22 (1968), S. 25-40.

Hupfer, P.: Die Ostsee – Kleines Meer mit großen Problemen. Leipzig 1979. (Kleine naturwissenschaftl. Bibl., Bd. 40).

International Council for the Exploration of the Sea (ICES; Ed.): Report on the Pollution of the Baltic Sea, No. 15. Kopenhagen 1970.

Industrie- und Handelskammer zu Lübeck (Hrsg.): Umweltschutz für die Ostsee. Die Wirtschaft im Ostseeraum 1971. Lübeck 1971.

Jansson, B.-O.: Baltic Sea ecosystem analysis: Critical areas for future research. Limnologia 15 (1984), S. 237-252.

Kändler, R.: Hydrographische Untersuchungen zum Abwasserproblem in den Buchten und Förden der Ostküste Schleswig-Holsteins. Kieler Meeresforschungen 9 (1953), S. 176-200.

Kortum, G.: Umweltprobleme der Ostsee im Überblick. In: H.-G. Glässer (Hrsg.): Beiträge zur Landeskunde Schleswig-Holsteins und benachbarter Räume. Kiel 1991, S. 88-97. (Kieler Arbeitspapiere zur Landeskunde und Raumordnung, Nr. 24).

Krug, J.: Erneuerung des Wassers in der Kieler Bucht im Vergleich eines Jahres am Beispiel 1960/61. Kieler Meeresforschungen 19 (1963), S. 158-174.

Kullenberg, G.: The Baltic Sea. In: B.H. Ketchum (Ed.): Estuaries and Enclosed Seas. Amsterdam 1983, S. 309-335. (Ecosystems of the World, 26).

Liedl, F., K.-M. Weber und U. Witte: Die Ostsee. Meeresnatur im ökologischen Notstand. Göttingen 1992.

Magaard, L. und G. Rheinheimer (Hrsg.): Meereskunde der Ostsee. Berlin 1974.

Nationalkomitee der Bundesrepublik Deutschland für das Internationale Hydrologische Programm der UNESCO und das operationelle Hydrologische Programm der WMO (Hrsg.): Wasser- und Materialbilanz der Ostsee. Koblenz 1985. (IHP/OHP-Berichte, H. 6).

Rumohr, J., E. Walger und B. Zeitzschel (Eds.): Sea-water-Sediment Interactions in Coastal Waters. An Interdisciplinary Approach. Berlin Heidelberg u.a. 1987. (Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, No. 13).

Schwenke, H., und W. Schramm: Die Ostsee als Ökosystem. In: L. Magaard und G. Rheinheimer (Hrsg.): Meereskunde der Ostsee. Heidelberg 1974, S. 203-214.

Theede, H., und W. Schramm (Eds.): The Baltic Sea Environment. History – Eutrophication – Recruitment Ecotoxicology. Proceedings of the 10th Symposium of the Baltic Marine Biologists in Kiel 1987. Kiel 1988. (Kieler Meeresforschungen, Sonderbd. 6).

Voipio, A. (Ed.): The Baltic Sea. Amsterdam 1981.

Wattenberg, H.: Die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht und ihre Abhängigkeit von Strom- und Wetterlage. Kieler Meeresforschungen 6 (1949), S. 17-30.

Westing, A.H. (Ed.): Comprehensive Security for the Baltic. An Environmental Approach. London 1989.

Autoren

Sebastian A. Gerlach, geb. 1929

Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte: Benthos-Ökologie, Meeresverschmutzung.

Prof. Dr. Gerhard Kortum, geb. 1941.

Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte: Meeresgeographie und Küstenforschung.

Institut für Meereskunde an der Universität Kiel, Düsternbrooker Weg 20, 2300 Kiel 1.